



# UNIVERSITÀ DI PISA

---

## ANALYSIS OF BIONIC AND ROBOTIC SYSTEMS

**ALESSANDRO TOGNETTI**

Anno accademico 2023/24  
CdS BIONICS ENGINEERING  
Codice 1128I  
CFU 12

Moduli	Settore/i	Tipo	Ore	Docente/i
MODELING OF MULTI-PHYSICS PHENOMENA	ING-INF/06	LEZIONI	60	ANTONIO DE SIMONE ALESSANDRO TOGNETTI
PRINCIPLES OF BIONICS AND BIOROBOTICS ENGINEERING	ING-IND/34	LEZIONI	60	SILVESTRO MICERA DONATO ROMANO CESARE STEFANINI

### Obiettivi di apprendimento

#### Conoscenze

##### Principles of Bionics and Biorobotics Engineering

In particolare, il modulo "Principles of Bionics and Biorobotics Engineering" introdurrà l'ampio e interdisciplinare campo della bionica e delle aree scientifiche correlate, come la biorobotica, la neuroingegneria, e la bioingegneria. La bionica mira ad acquisire conoscenze specifiche attraverso l'analisi/modellazione di organismi viventi/ecosistemi e le applica per lo sviluppo di dispositivi innovativi bioispirati. La bionica concerne anche sistemi artificiali profondamente connessi ai tessuti del corpo e/o interagenti con gli organismi. L'applicazione dei principi della bionica è oggi diffusa in molti domini dell'ingegneria. Durante questo corso vengono presentate le conoscenze principali della bionica e della robotica per consentire la corretta comprensione dell'intero loop, dalle scoperte scientifiche al processo di innovazione ingegneristica. In particolare, il corso si concentra sui principi chiave della locomozione biologica, della robotica di sciame, degli organi artificiali, della neurorobotica, della neuroprotesi, e delle interfacce con il sistema nervoso, della morphological computation, di aspetti relativi all'energia, dei principi di design bionico strutturale e sulle principali tecniche di fabbricazione, nonché sui fondamenti della meccanica dei robot.

##### Modeling of multi-physics phenomena

Il corso fornisce una conoscenza pratica di base della meccanica computazionale dei solidi (elasticità lineare/non lineare) e dei fluidi (flussi incomprimibili di fluidi newtoniani), e l'elettromagnetismo computazionale a basse frequenze, principalmente associato a fenomeni bioelettrici e modelli neurali. La prima parte del corso tratta la teoria del Metodo degli Elementi Finiti e introduce algoritmi numerici e pratiche per la soluzione di problemi non lineari e dipendenti dal tempo, comuni a tutte le suddette discipline computazionali. Quindi, durante le sessioni pratiche verranno mostrate le implementazioni numeriche di diversi modelli fisici in un software FE commerciale, insieme alle applicazioni per progettare problemi che coinvolgono sensori e dispositivi bioispirati.

#### Modalità di verifica delle conoscenze

##### Principles of Bionics and Biorobotics Engineering

Per quanto riguarda il modulo "Principles of Bionics and Biorobotics Engineering" gli studenti saranno valutati mediante una prova orale, per verificare il loro grado di apprendimento delle conoscenze e dei messaggi chiave del corso.

##### Modeling of multi-physics phenomena

Durante l'esame orale lo studente dovrà: (1) discutere l'elaborato e (2) dimostrare di aver appreso i contenuti esposti nel corso anche attraverso forma di esercizi e calcoli.

#### Capacità

##### Principles of Bionics and Biorobotics Engineering

Alla fine del corso "Principles of Bionics and Biorobotics Engineering", lo studente:

- acquisirà delle conoscenze chiave riguardanti i principi di ingegneria bionica e robotica;
- sarà in grado di orientarsi all'interno della letteratura scientifica;
- sarà in grado di formulare ipotesi innovative e di immaginare nuove soluzioni riguardanti il design bionico e paradigmi di robotica bioispirata.

##### Modeling of multi-physics phenomena

Al termine del modulo lo studente:

- Acquisirà una conoscenza computazionale di base meccanica dei solidi, dei liquidi e elettromagnetismo (bassa frequenza)
- Acquisirà conoscenze di base sul metodo degli elementi finiti



## UNIVERSITÀ DI PISA

- Sarà in grado di implementare modelli fisici in software FE commerciale

### Modalità di verifica delle capacità

#### Principles of Bionics and Biorobotics Engineering

Per il modulo "Principles of Bionics and Biorobotics Engineering", gli strumenti utilizzati consisteranno in:

- Presentazione dei principali strumenti utilizzati in letteratura per fabbricazione e caratterizzazione di strutture a diverse scale dimensionali e per lo sviluppo di sistemi neurorobotici e neuroprotesici
- Banche dati "Scholar", "Scopus" e "ISI Web of Knowledge", che consentono allo studente di approfondire la letteratura scientifica connessa agli argomenti del corso

#### Modeling of multi-physics phenomena

Le capacità saranno verificate sia durante le lezioni in classe che a livello della prova orale

### Comportamenti

#### Principles of Bionics and Biorobotics Engineering

Durante il modulo "Principles of Bionics and Biorobotics Engineering" ci si aspetta che lo studente acquisisca:

- L'attitudine a formulare nuove ipotesi e a generare idee creative nei domini del design bionico, della neuroingegneria e della biorobotica;
- Competenze e attitudini al pensiero creativo nei campi della robotica, biorobotica, neuroingegneria e bionica.

#### Modeling of multi-physics phenomena

Lo studente sarà in grado di analizzare teoricamente e implementare modelli fisici di diversa natura.

### Modalità di verifica dei comportamenti

#### Principles of Bionics and Biorobotics Engineering

Principles of Bionics and Biorobotics Engineering: Gli strumenti usati per valutare se gli studenti avranno acquisito le conoscenze e attitudini attese, saranno principalmente domande poste agli studenti nel corso delle lezioni frontali, per valutare l'acquisizione e consolidamento di certi concetti chiave.

#### Modeling of multi-physics phenomena

La verifica dei comportamenti avverrà sulla base di interazioni e colloqui individuali con gli studenti. E' prevista l'esecuzione di elaborati specifici assegnati singolarmente o per piccoli gruppi.

### Prerequisiti (conoscenze iniziali)

#### Principles of Bionics and Biorobotics Engineering

Principles of Bionics and Biorobotics Engineering: Per seguire in modo proficuo questo corso, non sono richieste conoscenze pregresse specialistiche. Tuttavia, competenze consolidate di fisica e matematica sono necessarie. Inoltre, anche se non strettamente richieste, competenze di meccanica, elaborazione dei segnali ed elettronica sono desiderabili.

#### Modeling of multi-physics phenomena

Per seguire in modo proficuo questo modulo, non sono richieste conoscenze pregresse specialistiche. Tuttavia, competenze consolidate di fisica e matematica sono necessarie. Inoltre, anche se non strettamente richieste, competenze di meccanica ed bioelettricità sono desiderabili.

### Indicazioni metodologiche

#### Principles of Bionics and Biorobotics Engineering

Le indicazioni metodologiche per il modulo "Principles of Bionics and Biorobotics Engineering" sono:

- Le lezioni verranno svolte alternando trattazioni alla lavagna e slide proiettate, con l'ausilio di animazioni e video;
- Le lezioni saranno disponibili in formato elettronico sul sito web [http://www.bionicsengineering.it/Courses\\_PrivateArea](http://www.bionicsengineering.it/Courses_PrivateArea), accessibile dagli studenti;
- L'interazione docente/studente sarà basata su scambi e-mail o su riunioni su appuntamento, per discutere degli argomenti toccati durante il corso;
- È previsto lo sviluppo di un projectual work di gruppo o individuale da parte di ogni studente

La lingua utilizzata per tutte le lezioni è l'Inglese.

#### Modeling of multi-physics phenomena

- Lezioni frontali
- Esercitazioni
- Seminari su argomenti specialistici



## UNIVERSITÀ DI PISA

### Programma (contenuti dell'insegnamento)

#### Principles of Bionics and Biorobotics Engineering

Gli argomenti del modulo "Principles of Bionics and Biorobotics Engineering" sono i seguenti:

- Evoluzione storica della bionica, in relazione alla robotica e alla bioingegneria;
- Organismi modello e principi di locomozione biologica in diversi ambienti e applicazioni in robotica
- Gestione bionica dell'energia: confronto tra animali e robot;
- Tecnologie di fabbricazione a diverse scale dimensionali;
- Design strutturale bioispirato e materiali avanzati;
- Fondamenti di meccanica dei robot (giunti, trasformazioni omogenee, jacobiane, metodi per studi cinematici e dinamici);
- Robotica di sciame;
- Principi per lo sviluppo di interfacce neurali e neuroprotesi
- Questioni etiche e considerazioni legali

#### Modeling of multi-physics phenomena

- Modellazione in forma debole e teoria del metodo degli elementi finiti
- Metodi numerici e buone pratiche per la soluzione di problemi non lineari e transitori
- Elasticità lineare e non lineare
- Flussi incomprimibili di fluidi newtoniani
- Elettromagnetismo a basse frequenze (fenomeni bioelettrici e modelli neurali)
- Progettazione di sensori e dispositivi bioispirati utilizzando strumenti computazionali

### Bibliografia e materiale didattico

#### Principles of Bionics and Biorobotics Engineering

- Principles of Bionics and Biorobotics Engineering
  - Nachtigall, W., & Wisser, A. (2014). Bionics by examples.
  - Beni, G. (2004, July). From swarm intelligence to swarm robotics. In *International Workshop on Swarm Robotics*(pp. 1-9). Springer, Berlin, Heidelberg.
  - Copeland, J. G., Smith, R. G., Arabia, F. A., Nolan, P. E., Sethi, G. K., Tsau, P. H., ... & Slepian, M. J. (2004). Cardiac replacement with a total artificial heart as a bridge to transplantation. *New England Journal of Medicine*, 351(9), 859-867.
  - Zhang, C., Mcadams, D. A., & Grunlan, J. C. (2016). Nano/Micro?Manufacturing of Bioinspired Materials: a Review of Methods to Mimic Natural Structures. *Advanced Materials*, 28(30), 6292-6321.
  - Alexander, R. M. (2003). *Principles of animal locomotion*. Princeton University Press.
  - Menon, C., Murphy, M., & Sitti, M. (2004, August). Gecko inspired surface climbing robots. In *Robotics and Biomimetics, 2004. ROBIO 2004. IEEE International Conference on*(pp. 431-436).
  - Wegst, U. G., Bai, H., Saiz, E., Tomsia, A. P., & Ritchie, R. O. (2015). Bioinspired structural materials. *Nature materials*, 14(1), 23-36.
  - Shokur et al., A modular strategy for next-generation upper-limb sensory-motor neuroprostheses, *Med*, 2021.
  - Borton et al., Personalized neuroprosthetics, *Science Trans Med*, 2013.

Le lezioni in formato digitale sono disponibili sul sito [http://www.bionicsengineering.it/Courses\\_PrivateArea](http://www.bionicsengineering.it/Courses_PrivateArea), accessibile dagli studenti.

#### Modeling of multi-physics phenomena

Dokos, Socrates. Modelling organs, tissues, cells and devices: using Matlab and Comsol multiphysics. Springer, 2017

Le dispense sono disponibili su Teams.

### Indicazioni per non frequentanti

nessuna

### Modalità d'esame

#### Principles of Bionics and Biorobotics Engineering

L'esame relativo al modulo "Principles of Bionics and Biorobotics Engineering" è costituito da una prova orale.

La prova orale è superata se il candidato è in grado di rispondere con padronanza e metodo alla maggior parte delle domande poste dai docenti riguardanti gli argomenti del corso.

#### Modeling of multi-physics phenomena

Esame orale

### Altri riferimenti web

[http://www.bionicsengineering.it/courses\\_and\\_staff](http://www.bionicsengineering.it/courses_and_staff)

